

【特許請求の範囲】

【請求項1】原版上に描画されたパターンを基板の感光面に転写する投影光学系を有する投影露光装置において、

前記投影光学系の最も基板側のレンズ面と前記感光面との空間に、補助レンズが挿脱可能に配置され、

該補助レンズの下面と前記感光面との空間は、液浸可能に形成され、

前記補助レンズの原版側レンズ面の曲率半径は、該原版側レンズ面から前記感光面までの光軸上の距離にはほぼ等しくなるように形成されたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】前記補助レンズの基板側レンズ面の曲率半径は、該基板側レンズ面から前記感光面までの光軸上の距離にはほぼ等しくなるように形成されたことを特徴とする請求項1記載の投影露光装置。

【請求項3】原版上に描画されたパターンを基板の感光面に転写する投影光学系を有する投影露光装置において、

前記投影光学系の最も基板側のレンズ面の曲率半径は、該基板側のレンズ面から前記感光面までの光軸上の距離にはほぼ等しくなるように形成されたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項4】請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の投影露光装置を用いて露光する方法において、前記原版を所定の露光光で照明する照明工程と、前記投影光学系を介して前記原版のパターン像を前記基板の感光面に露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、原版上に描画されたパターンを基板上に焼付転写する投影光学系を有する投影露光装置及び露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、感光性基板としてのウエハに転写されるパターンの微細化が望まれている。これを達成するためには、露光波長の短波長化を図るか、投影光学系の開口数の増大化を図るかの2つの方法が考えられる。従来より、これらのうち投影光学系の開口数の増大化を図る方法として、液浸式の投影露光装置が提案されている。液浸式の投影露光装置は、投影光学系の最もウエハ側のレンズ面と、ウエハとの空間、すなわち、作動距離(ワーキングディスタンス)の空間(以後、作動空間と呼ぶ。)の全部又はウエハ側の部分空間を、油等の液体で満たす装置である。通常使用時の作動空間を占める空気の屈折率が1.0であるのに対して、例えば、油の屈折率は約1.6である。このため、作動空間の全部又はウエハ側の部分空間を、このように屈折率の高い液体に置換すれば、投影光学系のウエハ側の開口数を大きく

し、露光パターンの微細化を図ることができる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来の液浸式の投影露光装置においては、作動空間を空気等の気体とする通常使用時と、パターンの微細化を図り作動空間の全部又はウエハ側の部分空間を液体とする液浸使用時とで、同等の結像性能を確保できなかった。例えば、作動空間のウエハ側部分空間を液体とする液浸時の使用方法として、平行平板ガラスを気体と液体の境界に設置する場合を考える。このような場合、以下の3つの不具合が発生する。

【0004】1つめは、液浸使用時、平行平板ガラスの入射面での光の屈折によって、投影光学系による結像位置がずれる不具合である。そのため、焦点距離を確保するように、投影光学系又はウエハを移動させる必要がある。そして、その液浸使用時の条件によっては、結像位置をウエハ上に合わせられなくなる場合がある。2つめは、液浸使用時に気体と液体の境界に設置される平行平板ガラスによって、球面収差が生じる不具合である。これによって、液浸使用時には結像性能が悪くなる。3つめは、環境変動により液浸使用時の結像性能や結像位置の変化が大きくなる不具合である。すなわち、液体の屈折率は、気体の屈折率に比べて、温度変化等の環境変動によって大きく変化するため、結像性能や結像位置が安定しない。したがって本発明は、投影光学系を液浸状態で使用した場合でも、通常状態で使用した場合と比べて、投影光学系による結像位置と、光軸付近の結像性能の変化の少ない投影露光装置及び露光方法を提供することを課題とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、すなわち、添付図面の図1及び図2に付した符号をカッコ内に付記すると、本発明は、原版(1)上に描画されたパターン(1a)を基板(5)の感光面(5a)に転写する投影光学系(2)を有する投影露光装置において、投影光学系(2)の最も基板(5)側のレンズ面と感光面(5a)との空間に、補助レンズ(4)が挿脱可能に配置され、補助レンズ(4)の下面と感光面(5a)との空間は、液浸可能に形成され、補助レンズ(4)の原版(1)側レンズ面の曲率半径(R_1)は、原版(1)側レンズ面から感光面(5a)までの光軸(Z)上の距離(d_1)にはほぼ等しくなるように形成されたことを特徴とする投影露光装置である。その際、更に添付図面の図3に付した符号をカッコ内に付記すると、補助レンズ(4)の基板(5)側レンズ面の曲率半径(R_2)は、基板(5)側レンズ面から感光面(5a)までの光軸(Z)上の距離(d_2)にはほぼ等しくなるように形成されることが好ましい。

【0006】また本発明は、添付図面の図1及び図4に

付した符号をカッコ内に付記すると、原版(1)上に描画されたパターン(1a)を基板(5)の感光面(5a)に転写する投影光学系(2)を有する投影露光装置において、投影光学系(2)の最も基板(5)側のレンズ面の曲率半径(R_2)は、基板(5)側のレンズ面から感光面(5a)までの光軸(Z)上の距離(d_2)にほぼ等しくなるように形成されたことを特徴とする投影露光装置である。また本発明は、添付図面の図1に付した符号をカッコ内に付記すると、上述の構成の投影露光装置を用いて露光する方法において、原版(1)を所定の露光光で照明する照明工程と、投影光学系(2)を介して原版(1)のパターン像(1a)を基板(5)の感光面(5a)に露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法である。

【0007】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を図面によつて説明する。図1、図2にて、本発明による投影露光装置の第1実施例を示す。図1は、本発明の第1実施例による通常使用時の投影露光装置を示す図である。本第1実施例は、照明工程と露光工程を含む露光方法にて、レチクル1のパターン面1aの像をウエハ5の像面5a(感光面)に結像する。すなわち、K r Fエキシマレーザー光源等の光源10から発した光束は、照明光学系1を経て、レチクルステージ12上に載置された原版としてのレチクル1のパターン面1aを、均一に照明する。レチクル1のパターン面1aから発した露光光は、投影光学系2を介して、XYステージ8上に載置されたウエハ5の像面5aに、パターン面1aの像を結像する。なお、通常使用時とは、作動空間が、空気のみの状態をいう。

【0008】ここで、XYステージ8上には、回転軸7を介在して、レンズホルダ3に保持された補助レンズ4が設置されている。この補助レンズ4は、回転軸7を中心に回転可能となっている。そして、図1に示す位置から180°回転すると、補助レンズ4は、投影光学系2の真下に配置される。このとき、補助レンズ4の光軸は、投影光学系2の光軸と一致する。また、XYステージ8上には、箱形状の液体遮蔽板6が設置されている。図1では、簡単のため、液体遮蔽板6の断面のみ示す。そして、液体遮蔽板6に囲まれた空間に、油等の液体を入れて、作動空間のウエハ5側部分空間を液体とすることができます。本第1実施例の投影露光装置を液浸状態にて使用する場合、補助レンズ4を投影光学系2の真下に配置し、液体遮蔽板6内に液体を入れる。このとき、補助レンズ4の上面(レチクル1側の面)と、投影光学系2の下面(最もウエハ5側の面)との間は、空気となる。そして、補助レンズ4の下面(ウエハ5側の面)と、ウエハ5との間は、液体となる。図1の破線Mは、空気と液体の境界線を示す。

【0009】図2は、本発明の第1実施例による液浸使

10

20

30

40

50

用時での投影露光装置において、補助レンズ4の近傍を拡大して示した図である。前述したように、液浸使用時では、補助レンズ4の上面側の空間は空気Aとなり、補助レンズ4の下面側の空間は液体Lとなっている。また、本第1実施例における補助レンズ4の屈折率は、液体Lの屈折率とほぼ等しい値となっている。補助レンズ4の上面形状は、ウエハ5上の像面5aの中心に結像するすべての光線Kが垂直に入射するような形状となっている。すなわち、補助レンズ4の上面の曲率中心が、補助レンズ4及び液体Lがない通常使用時の像面5aの中心と一致している。そして、補助レンズ4の上面の曲率半径R1は、次式を満たす。

$$R_1 = d_1 \quad (1)$$

d_1 ：補助レンズ4上面からウエハ像面5aまでの光軸Z上の距離

【0010】一方、補助レンズ4の下面形状は、平面形状となっている。前述したように、補助レンズ4と液体Lの屈折率は等しいため、像面5aの中心付近に結像する全ての光線Kは、補助レンズ4の下面部においても、上面部と同様に、ほとんど屈折しない。したがって、液浸使用時の収束半角は、通常使用時の収束半角と等しくなる。このとき、投影光学系2のウエハ5側の開口数NAは、

$$NA = n \sin \theta$$

n ：液体の空気に対する屈折率

θ ：収束半角

で求まる。また、分解能 Δr は、次式で求まる。

$$\Delta r = k \lambda_0 / NA$$

λ_0 ：露光光の空気中での屈折率

k ：定数

【0011】したがって、液浸使用時は、通常使用時と比べて、開口数をn倍、像面5a中心付近における分解能を1/n向上することができる。また、本第1実施例では、像面5aの中心に結像する全ての光線Kは、補助レンズ4によっては屈折しないため、球面収差が発生しない。更に、補助レンズ4の色分散と液体Lの色分散とが等しい場合には、軸上色収差も発生しない。これにより、光軸Z付近の像面5aにおいて、液浸使用時であっても、通常使用時における結像性能がほぼ保たれる。更に、液浸使用時と通常使用時とで、投影光学系5による結像位置の変化もない。

【0012】次に、図3にて、本発明による投影露光装置の第2実施例を示す。本第2実施例は、補助レンズ4の形状のみ、前記第1実施例と異なる。図3は、本発明の第2実施例による液浸使用時の投影露光装置において、補助レンズ4の近傍を拡大して示した図である。本第2実施例の補助レンズ4の上面部の形状は、前記第1実施例の補助レンズ4の上面部の形状と等しい。すなわち、上面部において(1)式の関係が成り立つ。

【0013】一方、前記第1実施例の補助レンズ4の下

面部が平面形状であるのに対して、本第2実施例の補助レンズ4の下面部の形状は曲面形状となっている。そして、その下面形状は、上面形状と同様に、ウエハ5上の像面5aの中心に結像する全ての光線Kが垂直に入射するような形状となっている。すなわち、補助レンズ4の下面の曲率中心が、通常使用時の像面5aの中心と一致している。そして、補助レンズ4の下面の曲率半径R₂は、次式を満たす。

$$R_2 = d_2 \quad (2)$$

d₂：補助レンズ4下面からウエハ像面5aまでの光軸Z上の距離

【0014】本第2実施例によれば、補助レンズ4と液体Lの屈折率が異なるときや、温度変化等の環境変動によって液体Lの屈折率が変化するときであっても、収差や結像位置の変化が少ない。すなわち、像面5aの中心に結像する全ての波長の光線Kは、補助レンズ4の下面においても、液体Lの屈折率や色分散に関わらず屈折しない。したがって、本第2実施例においても、前記第1実施例と同様に、液浸使用時に高い分解能を得ることができる。また、通常使用時と液浸使用時とを比較しても、投影光学系2による結像位置が変化せず、像面5aでの軸上色収差や球面収差の変化もなく、光軸Z付近の像面5aでの結像性能が維持される。更に、温度変化等によって液体Lの屈折率が変化しても、結像位置、軸上色収差や球面収差の変化はない。

【0015】次に、図4にて、本発明による投影露光装置の第3実施例を示す。前記第1、第2実施例では液浸使用時に作動空間のウエハ5側部分空間の一部を液体としたが、本第3実施例では、液浸使用時に作動空間の全部を液体とする。すなわち、液浸使用時には、投影光学系2の最もウエハ5側の面が、液体に浸されることになる。したがって、本第3実施例の投影露光装置は、図1の液体遮蔽板6の上面が、投影光学系2の下面より高くなければならない。更に、前記第1、第2実施例の液浸使用時に用いる図1のレンズホルダ3、補助レンズ4、回転軸7は、不要となる。

【0016】図4は、液浸使用時において、投影露光装置の投影光学系2の最もウエハ5側の面を拡大して示した図である。投影光学系2の最もウエハ5側の面の形状は、前記第2実施例の補助レンズ4の下面部の形状と等

しい。すなわち、下面部において(2)式の関係が成り立つ。一方、通常使用時においても、図4に示す投影光学系2を用いることになるが、液浸使用時と同様に、像面5aの中心付近に結像する全ての光線Kの屈折は生じない。本第3実施例においても、前記第2実施例と同様に、液浸使用時に高い分解能を得ることができる。また、通常使用時と液浸使用時とを比較しても、投影光学系2による結像位置が変化せず、像面5aでの軸上色収差や球面収差の変化もなく、光軸Z付近の像面5aでの結像性能が維持される。更に、温度変化等によって液体Lの屈折率が変化しても、結像位置、軸上色収差や球面収差の変化はない。

【0017】

【発明の効果】以上のように本発明では、投影露光装置を通常状態と液浸状態で共用することができる。そして、液浸使用時においても、結像位置や光軸付近の結像性能がほとんど変化しない投影露光装置を提供することができる。更に、液体の屈折率の変化の影響の少ない投影露光装置及び露光方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例による投影露光装置を示す図である。

【図2】本発明の第1実施例による投影露光装置の液浸使用時の状態を示す図である。

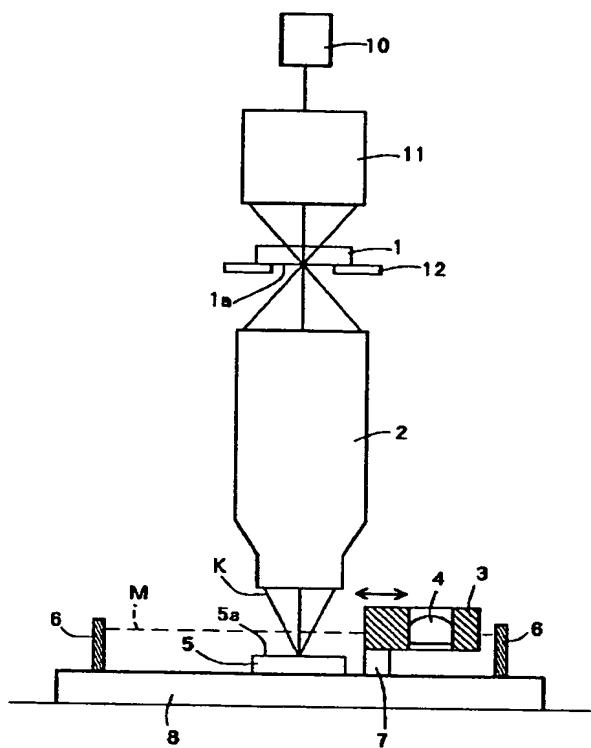
【図3】本発明の第2実施例による投影露光装置の液浸使用時の状態を示す図である。

【図4】本発明の第3実施例による投影露光装置の液浸使用時の状態を示す図である。

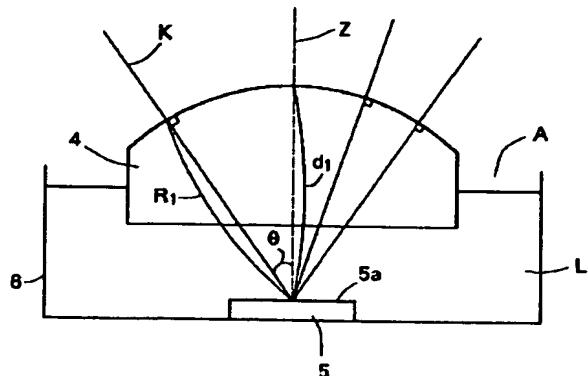
【符号の説明】

1	…レチクル	1 a	…パターン面
2	…投影光学系		
3	…レンズホルダ		
4	…補助レンズ		
5	…ウエハ	5 a	…像面
6	…液体遮蔽板	7	…回転軸
8	…XYステージ	10	…光源
11	…照明光学系		
12	…レチクルステージ		
Z	…光軸	K	…光線
A	…気体	L	…液体

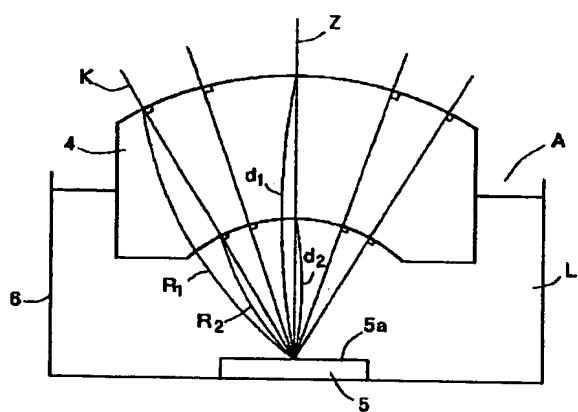
【图 1】



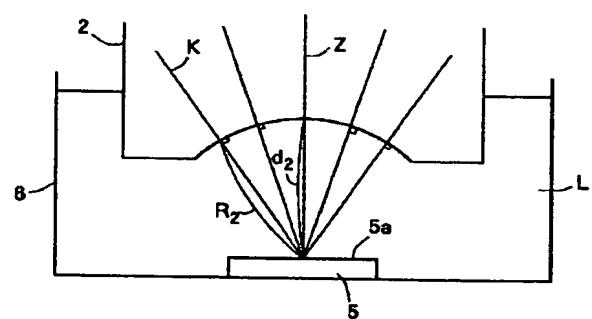
【图2】



【図3】



【图 4】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H087 KA21 LA00 NA04 PA01 PB01
QA01 QA03
5F046 BA03 CA04 CB12 CB25 CB26
CB27 DA13

[Name of the Document] SPECIFICATION

[Title of the Invention] PROJECTION EXPOSURE APPARATUS AND EXPOSURE METHOD

[ABSTRACT]

[Summary]

[Object] It is an object of the present invention to provide a projection exposure apparatus and an exposure method, each of which is low in fluctuation of an imaging position and of imaging performance near an optical axis of the projection optical system in comparison with those in normal use even if the projection optical system is used under liquid immersion condition.

[Constitution] A projection exposure apparatus having a projection optical system (2) for transferring a pattern (1a) drawn on an original plate (1) to a photosensitive surface (5a) of a substrate (5), wherein an attachment lens (4) is disposed insertably/extractably with respect to a space between the lens surface of the projection optical system (2) closest to the substrate (5) and the photosensitive surface (5a), wherein the space between the under surface of the attachment lens (4) and the photosensitive surface (5a) is configured to be immersed in liquid, and wherein the radius of curvature (R_1) of the lens surface on the original plate (1) side of the attachment lens (4) is substantially equal to a distance (d_1) on an optical axis (Z) from the lens surface on the original plate (1) side

to the photosensitive surface (5a).

[Scope of Claims for Patent]

[Claim 1] A projection exposure apparatus having a projection optical system for transferring a pattern drawn on an original plate to a photosensitive surface of a substrate, wherein:

an attachment lens is disposed insertably/extractably with respect to a space between the lens surface of the projection optical system closest to the substrate and the photosensitive surface;

a space between the under surface of the attachment lens and the photosensitive surface is configured to be immersed in liquid; and

a radius of curvature of the lens surface on the original plate side of the attachment lens is substantially equal to a distance on an optical axis from the lens surface on the original plate side to the photosensitive surface.

[Claim 2] The projection exposure apparatus according to claim 1, wherein the radius of curvature of the lens surface on the substrate side of the attachment lens is substantially equal to a distance on the optical axis from the lens surface on the substrate (5) side to the photosensitive surface.

[Claim 3] A projection exposure apparatus having a projection optical system for transferring a pattern drawn on an original plate to a photosensitive surface of a substrate, wherein a radius of curvature of the lens surface on the substrate side of the projection optical system is

substantially equal to a distance on an optical axis from the lens surface on the substrate side to the photosensitive surface.

[Claim 4] A method of performing exposure using the projection exposure apparatus according to one of claim 1 to claim 3, the method comprising:

an illumination step of illuminating the original plate with a predetermined exposing light; and

an exposure step of exposing the pattern image on the original plate to the photosensitive surface of the substrate through the projection optical system.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

The present invention relates to a projection exposure apparatus having a projection optical system for exposing and transferring a pattern drawn on an original plate onto a substrate, and exposure method.

[0002]

[Background Related Art]

In recent years, there is a demand for miniaturization of patterns transferred to a wafer as a photosensitive substrate. In order to achieve this, the following two methods are conceivable: decreasing an exposure wavelength; and increasing the numerical aperture of a projection optical system. Among them, an immersion type projection exposure apparatus has conventionally been suggested as a method of

increasing the numerical aperture of the projection optical system. In the immersion type projection exposure apparatus, all or a wafer-side part of the space between a lens surface of the projection optical system closest to the wafer and the wafer, in other words, a space of the working distance (hereinafter, referred to as a working space) is filled with oil or some other liquid. While the refractive index of air occupying the working space in normal use is 1.0, the refractive index of oil is about 1.6, for example. Therefore, it is possible to increase the numerical aperture on the wafer side of the projection optical system to achieve the miniaturization of an exposed pattern by replacing all or the wafer-side part of the working space with a liquid having a high refractive index as described above.

[0003]

[Problems to be Solved by the Invention]

The above conventional immersion type projection exposure apparatus has been incapable of securing an equal imaging performance between normal use in which the working space is filled with air or some other gas and liquid immersion use in which the liquid occupies all or the wafer-side part of the working space in order to achieve pattern miniaturization. For example, a method of using the projection exposure apparatus under liquid immersion condition will be discussed in a situation where a parallel plate glass is placed on the boundary between the gas and the liquid. In this instance, the following three problems occur.

[0004]

The first problem is that a displacement of imaging position of the projection optical system due to refraction of light on the incidence plane of the parallel plate glass in liquid immersion use. Therefore, it is necessary to move the projection optical system or the wafer so as to secure the focal length. Moreover, the imaging position may be incapable of being adjusted onto the wafer depending on the conditions in liquid immersion use. The second problem is that a spherical aberration occurs due to the parallel plate glass placed on the boundary between the gas and the liquid in liquid immersion use. This deteriorates the imaging performance in liquid immersion use. The third problem is that the environmental variation significantly changes the imaging performance or the imaging position in liquid immersion use. More specifically, the refractive index of the liquid remarkably changes according to the environmental variation such as a temperature change in comparison with the refractive index of the gas, which leads to unstable imaging performance or imaging position. Therefore, an object of the present invention is to provide a projection exposure apparatus and an exposure method, each of which is low in fluctuation of an imaging position and of imaging performance near an optical axis of the projection optical system in comparison with those in normal use even if the projection optical system is used under liquid immersion condition.

[0005]

[Means to Solve the Problem]

The present invention has been suggested to overcome the foregoing various problems. More specifically, with the reference numerals in FIG. 1 and FIG. 2 of the attached drawings added in parentheses, according to one aspect of the present invention, there is provided a projection exposure apparatus having a projection optical system (2) for transferring a pattern (1a) drawn on an original plate (1) to a photosensitive surface (5a) of a substrate (5), wherein an attachment lens (4) is disposed insertably/extractably with respect to a space between the lens surface of the projection optical system (2) closest to the substrate (5) and the photosensitive surface (5a), wherein a space between the under surface of the attachment lens (4) and the photosensitive surface (5a) is configured to be immersed in liquid, and wherein a radius of curvature (R_1) of the lens surface on the original plate (1) side of the attachment lens (4) is substantially equal to a distance (d_1) on an optical axis (Z) from the lens surface on the original plate (1) side to the photosensitive surface (5a). In this regard, with the reference numerals in FIG. 3 of the attached drawings added in parentheses, preferably a radius of curvature (R_2) of the lens surface on the substrate (5) side of the attachment lens (4) is substantially equal to a distance (d_2) on the optical axis (Z) from the lens surface on the substrate (5) side to the photosensitive surface (5a).

[0006]

Moreover, with the reference numerals in FIG. 1 and FIG. 4 of the attached drawings added in parentheses, according to another aspect of the present invention, there is provided a projection exposure apparatus having a projection optical system (2) for transferring a pattern (1a) drawn on an original plate (1) to a photosensitive surface (5a) of a substrate (5), wherein a radius of curvature (R_2) of the lens surface on the substrate (5) side of the projection optical system (2) is substantially equal to a distance (d_2) on an optical axis (Z) from the lens surface on the substrate (5) side to the photosensitive surface (5a). Moreover, with the reference numerals in FIG. 1 of the attached drawings added in parentheses, according to still another aspect of the present invention, there is provided a method of performing exposure using the projection exposure apparatus having the above configuration, the method comprising: an illumination step of illuminating the original plate (1) with a predetermined exposing light; and an exposure step of exposing the pattern image (1a) on the original plate (1) to the photosensitive surface (5a) of the substrate (5) through the projection optical system (2).

[0007]

[Embodiments]

The preferred embodiments of the present invention will be described below with reference to drawings. Referring to FIG. 1 and FIG. 2, there is shown a first embodiment of a projection exposure apparatus according to the present

invention. FIG. 1 shows the projection exposure apparatus in normal use according to the first embodiment of the present invention. In the first embodiment, an image on a pattern surface 1a of a reticle 1 is formed onto an image surface 5a (photosensitive surface) of a wafer 5 in an exposure method including an illumination step and an exposure step. More specifically, a luminous flux emitted from a light source 10 such as a KrF excimer laser light source passes through an illumination optical system 11 and uniformly illuminates the pattern surface 1a of the reticle 1 as an original plate mounted on a reticle stage 12. The exposing light emitted from the pattern surface 1a of the reticle 1 forms the image of the pattern surface 1a to the image surface 5a of the wafer 5 mounted on an XY stage 8 through the projection optical system 2. Note that the term "normal use" means a state in which a working space is filled only with air.

[0008]

On an XY stage 8, an attachment lens 4 held by a lens holder 3 is mounted with a rotary shaft 7 put between the XY stage 8 and the attachment lens 4. The attachment lens 4 is rotatable around the rotary shaft 7. When being rotated 180° from the position shown in FIG. 1, the attachment lens 4 is disposed just under the projection optical system 2. In this condition, the optical axis of the attachment lens 4 is coincident with the optical axis of the projection optical system 2. Furthermore, a liquid shield 6 in the form of box is placed on the XY stage 8. In FIG. 1, only the cross

section of the liquid shield 6 is shown for simplification. A partial space on the wafer 5 side of the working space can be filled with liquid by supplying oil or some other liquid into the space enclosed by the liquid shield 6. When the projection exposure apparatus according to the first embodiment is used in a state of being immersed, the attachment lens 4 is disposed just under the projection optical system 2 and then the liquid is supplied inside the liquid shield 6. In this condition, air exists between the top surface of the attachment lens 4 (the surface on the reticle 1 side) and the under surface of the projection optical system 2 (the closest surface to the wafer 5). On the other hand, the liquid exists between the under surface of the attachment lens 4 (the surface on the wafer 5 side) and the wafer 5. A dashed line M in FIG. 1 indicates a border line between the air and the liquid.

[0009]

Referring to FIG. 2, there is shown a diagram illustrating an enlarged part in the vicinity of the attachment lens 4 in the projection exposure apparatus in liquid immersion use according to the first embodiment of the present invention. As described above, air A exists in the space on the top surface side of the attachment lens 4 and liquid L exists in the space on the under surface side of the attachment lens 4 in liquid immersion use. In addition, the refractive index of the attachment lens 4 in the first embodiment is substantially equal to the refractive index of

the liquid L. The shape of the top surface of the attachment lens 4 is formed in such a way that all beams of light K that form an image at the center of the image surface 5a on the wafer 5 are incident perpendicularly. In other words, the center of curvature on the top surface of the attachment lens 4 is coincident with the center of the image surface 5a in normal use in which the attachment lens 4 and the liquid L do not intervene. Moreover, the radius of curvature R_1 on the top surface of the attachment lens 4 satisfied the following expression:

$$R_1 = d_1 \quad (1)$$

d_1 : Distance on the optical axis Z from the top surface of the attachment lens 4 to the image surface 5a of the wafer [0010]

On the other hand, the shape of the under surface of the attachment lens 4 is formed in plane. As described above, the refractive index of the attachment lens 4 is equal to that of the liquid L, and therefore all the beams of light K that form an image near the center of the image surface 5a are not refracted almost at all also in the under surface of the attachment lens 4, similarly to the top surface. Accordingly, the convergence half-angle in liquid immersion use is equal to the convergence half-angle in normal use. In this condition, the numerical aperture NA on the wafer 5 side of the projection optical system 2 is obtained by:

$$NA = n \sin \theta$$

n: Refractive index of liquid relative to air

θ : Convergence half-angle

In addition, resolution Δr is obtained by:

$$\Delta r = k \lambda_0 / NA$$

λ_0 : Refractive index of exposing light in air

k: Constant

[0011]

Therefore, it is possible to improve the numerical aperture to n times and the resolution near the center of the image surface 5a to 1/n in liquid immersion use in comparison with those in normal use. Furthermore, all the beams of light K that form an image at the center of the image surface 5a are not refracted by the attachment lens 4 in the first embodiment, and therefore no spherical aberration occurs. Furthermore, if the chromatic dispersion of the attachment lens 4 is equal to that of the liquid L, no axial chromatic aberration occurs. This substantially keeps the imaging performance that will be achieved in normal use, even in liquid immersion use, in the image surface 5a near the optical axis Z. Furthermore, there is no change in imaging position of the projection optical system 5 between immersion use and normal use.

[0012]

Subsequently, a second embodiment of the projection exposure apparatus according to the present invention will be described with reference to FIG. 3. The second embodiment differs from the first embodiment only in the shape of attachment lens 4. Referring to FIG. 3, there is shown a

diagram illustrating an enlarged part near the attachment lens 4 in the projection exposure apparatus in liquid immersion use according to the second embodiment of the present invention. The shape of the top surface of the attachment lens 4 of the second embodiment is the same as the top surface of the attachment lens 4 of the first embodiment. In other words, the relation of expression (1) is satisfied in the top surface.

[0013]

On the other hand, while the under surface of the attachment lens 4 in the first embodiment is plane, the under surface of the attachment lens 4 in the second embodiment has curved shape. Similarly to the top surface of the attachment lens 4, the under surface thereof in the second embodiment is formed in such a way that all the beams of light K, which form an image at the center of the image surface 5a of the wafer 5, are incident perpendicularly. In other words, the center of curvature of the under surface of the attachment lens 4 is coincident with the center of the image surface 5a in normal use. The radius of curvature R_2 of the under surface of the attachment lens 4 satisfies the following expression:

$$R_2 = d_2 \quad (2)$$

d_2 : Distance on the optical axis Z from the under surface of the attachment lens 4 to the image surface 5a of the wafer

[0014]

According to the second embodiment, the aberration and

the imaging position stay relatively unchanged even if the refractive index differs between the attachment lens 4 and the liquid L or if the refractive index of the liquid L changes according to the environmental variation such as a temperature change. More specifically, the beams of light K of all wavelengths forming an image at the center of the image surface 5a are not refracted independently of the refractive index and the chromatic dispersion of the liquid L also on the under surface of the attachment lens 4.

Therefore, high resolution can be achieved in liquid immersion use also in the second embodiment, similarly to the first embodiment. Moreover, the imaging position in the projection optical system 2 does not change and no change occurs in the axial chromatic aberration and the spherical aberration in the image surface 5a in comparison between normal use and immersion use. Therefore, the imaging performance is maintained on the image surface 5a near the optical axis Z. Moreover, no change occurs in the imaging position, the axial chromatic aberration, and the spherical aberration even if the refractive index of the liquid L changes due to a temperature change or the like.

[0015]

Subsequently, a third embodiment of the projection exposure apparatus according to present invention will be described with reference to FIG. 4. While a part of the space on the wafer 5 side of the working space has been immersed in the liquid in liquid immersion use in the first

and the second embodiments, all of the working space is immersed in the liquid in liquid immersion use in the third embodiment. More specifically, the surface of the projection optical system 2 closest to the wafer 5 is immersed in the liquid in liquid immersion use. Therefore, the projection exposure apparatus of the third embodiment is required to have the top surface of the liquid shield 6 in FIG. 1 higher than the under surface of the projection optical system 2. Furthermore, there is no need to use the lens holder 3, the attachment lens 4, and the rotary shaft 7 in FIG. 1 for use in liquid immersion use of the first and second embodiments.

[0016]

Referring to FIG. 4, there is shown an enlarged surface of the projection optical system 2 closest to the wafer 5 in the projection exposure apparatus in liquid immersion use. The shape of the surface of the projection optical system 2 closest to the wafer 5 is the same as the shape of the under surface of the attachment lens 4 in the second embodiment. In other words, the relation of the expression (2) is satisfied regarding the under surface. On the other hand, while the projection optical system 2 shown in FIG. 4 is used also in normal use, no refraction occurs in all beams of light K, which form an image near the center of the image surface 5a, in the same manner as in liquid immersion use. Also in the third embodiment, high resolution is achieved in liquid immersion use similarly to the second embodiment. Moreover, the imaging position in the projection optical

system 2 does not change and no change occurs in axial chromatic aberration and spherical aberration in the image surface 5a in comparison between normal use and immersion use. Therefore, the imaging performance is maintained on the image surface 5a near the optical axis Z. Moreover, no change occurs in the imaging position, the axial chromatic aberration, and the spherical aberration even if the refractive index of the liquid L changes due to a temperature change or the like.

[0017]

[Effect of the Invention]

As described hereinabove, according to the present invention, the projection exposure apparatus can be shared between normal use and immersion use. Moreover, it is possible to provide a projection exposure apparatus in which there is substantially no change in the imaging position and the imaging performance near the optical axis even in liquid immersion use. Furthermore, it is possible to provide a projection exposure apparatus and an exposure method, each of which is little affected by a change in the refractive index of the liquid.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1]

It is a diagram showing a projection exposure apparatus according to a first embodiment of the present invention.

[Fig. 2]

It is a diagram showing a state of the projection

exposure apparatus in liquid immersion use according to the first embodiment of the present invention.

[Fig. 3]

It is a diagram showing a state of the projection exposure apparatus in liquid immersion use according to a second embodiment of the present invention.

[Fig. 4]

It is a diagram showing a state of the projection exposure apparatus in liquid immersion use according to a third embodiment of the present invention.

[Explanation of the Reference Numerals]

- 1 Reticle
- 1a Pattern surface
- 2 Projection optical system
- 3 Lens holder
- 4 Attachment lens
- 5 Wafer
- 5a Image surface
- 6 Liquid shield
- 7 Rotary shaft
- 8 XY stage
- 10 Light source
- 11 Illumination optical system
- 12 Reticle stage
- Z Optical axis
- K Beam of light
- A Gas

L Liquid